FORMATION
Nitrox
et
Nitrox confirmé

Qu'est ce que le NITROX?

- Mélange respiratoire composé d'oxygène et d'azote dans des proportions différentes de celle de l'air (cf code du sport - arrêté du 23 juillet 2009 – document distribué)

- Certains les appellent Surox ou EAN (anglo-saxon)

- Une convention pour la désignation d'un nitrox : XX/YY avec
  - XX pourcentage d'oxygène
  - YY pourcentage d'azote

Donc un nitrox 40/60 contient : 40 % de O_2 et 60% de N_2

Les prérogatives du Plongeur Nitrox

(Manuel de Formation Technique - FFESSM)

- Utilisation de tous les mélanges Nitrox contenant un maximum de 40% d'O2
- Prérogatives d'évolution fonction du niveau de plongeur et fixées par le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009)

Ce que l'on attend d'un Plongeur Nitrox

- Calculer la profondeur maximale d'utilisation (PMU)du mélange utilisé
- Savoir analyser son mélange
- Remplir le carnet de gonflage
- Renseigner les caractéristiques du mélange sur le bloc
- Organiser sa plongée en autonomie (si possible)
- Plonger en toute sécurité (déco) dans ses prérogatives en respectant les caractéristiques de son mélange (PMU – maintien d'une profondeur plancher)
- Démontrer certaines connaissances théoriques simples (examen QCM)

Les prérogatives du
Plongeur Nitrox confirmé
(Manuel de Formation Technique - FFESSM)

- Utilisation de tous les mélanges Nitrox ainsi que l'O_2 pur en décompression
- Prérogatives d'évolution fonction du niveau de plongeur et fixées par le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009)

Ce que l'on attend d'un Plongeur Nitrox confirmé

- Idem que pour le plongeur Nitrox
- Manipulation et utilisation d'un bloc déco sous l'eau
- Maintien d'un palier (plus rigoureux car O2)
- Démontrer des connaissances théoriques plus approfondies
- Utilisation de dévidoir en profondeur (optionnel - ouverture sur le trimix)

Les prérogatives du
Moniteur Nitrox confirmé
(Manuel de Formation Technique - FFESSM)

- Délivrer les certificats de compétence Nitrox et Nitrox confirmé (le code du sport - arrêté du 23 juillet 2009)
- Valider les plongées Nitrox sur les Carnets

COURS 1 : INTRODUCTION

1. Avantages et limitations du Nitrox
2. Le cadre réglementaire - le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009)

1. Avantages et limitations du NITROX

AVANTAGES

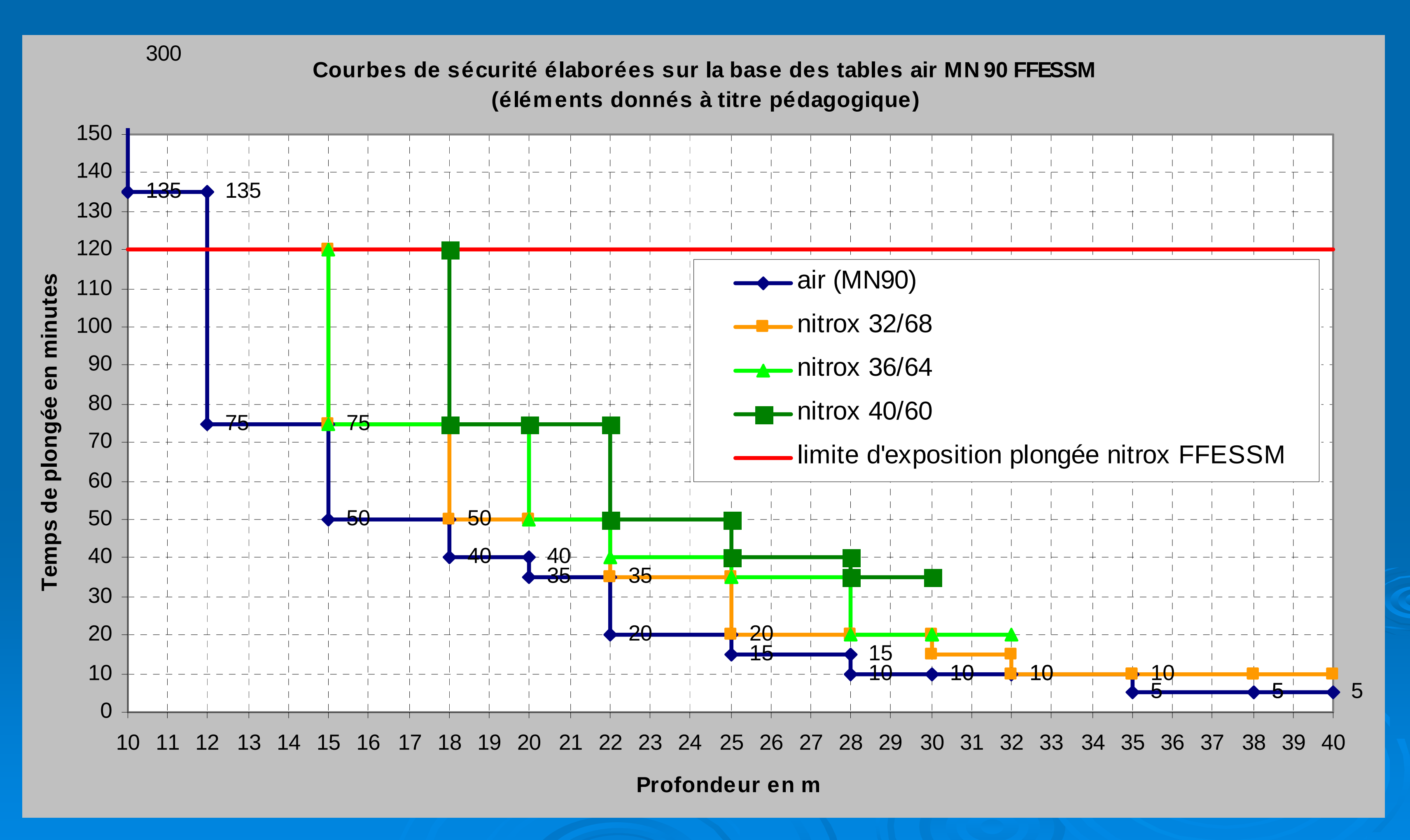
- Augmenter le temps d'immersion sans palier – déplacement de la courbe de sécurité - cf diapo suivante

- Réduction des temps de paliers en diminuant la saturation en gaz inerte (N2)

- Diminuer les risques d 'ADD par rapport à un même profil de plongée à l 'air (nitrox en déco ==>Safe Air) Ecolage

1. Avantages et limitations du NITROX

AVANTAGES (SUITE)



1. Avantages et limitations du NITROX

AVANTAGES (SUITE)

- Procurer un meilleur confort, surtout si on réalise des successives sur plusieurs jours (moins de fatigue??)

- Diminution du risque de Narcose, parfois cité mais peu de sens si on réfléchit à l'intérêt d'un Nitrox avec moins de 30% O2

- Mais aussi : plongée altitude (cf Annexe) ou encore plongée en eau froide

1. Avantages et limitations du NITROX

LIMITATIONS

- Potentiel de toxicité à l'oxygène qui peut avoir des conséquences plus dangereuses et plus immédiates qu'à l'air : risques hyperoxiques neurotoxiques (Effet Paul Bert) ou pulmonaires (Effet Lorrain-Smith)
- Equipements spéciaux dont analyseur d'O2
- Disponibilité du gaz – manipulation O2 ??
- Planification de la plongée plus rigoureuse

LE BILAN : NITROX = SECURITE

2. Le cadre réglementaire: le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009)

- Concerne la plongée aux mélanges donc pas uniquement le nitrox (binaire) mais aussi l'héliox (binaire) et le trimix (ternaire) en circuit ouvert ou fermé

- Sa structure est identique à celui de la plongée à l'air (également incorporé dans le code du sport)

- Fixe les limites d'utilisation des mélanges pour le nitrox: $0.16b < PpO_2 < 1.6b$

  qui représentent les seuils hypoxique et hyperoxique. Le seuil de 1.6b permet de calculer la Profondeur Maximale d'Utilisation (PMU)

2. Le cadre réglementaire: le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009) - Suite

- Fixe les exigences en matériel pour la confection et l'utilisation de gaz dont la teneur en O2 est supérieur à 40%
- Fixe les procédures de déco : tables ou ordi
- Fixe les conditions et espaces d'évolution (atn aux 5m)
  - ✓ 2 qualifactions nitrox (Niv1) et nitrox confirmé (Niv2)
  - ✓ E3 + nitrox confirmé deviennent moniteur nitrox
  - ✓ Autonomie avec ou sans DP

2. Le cadre réglementaire: le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009) - Suite

- Fixe le Fixe les exigences en termes de contrôle, d’étiquettage, de stockage et d’utilisation des blocs nitrox
- Rôle et exigences en terme de Directeur de Plongée (DP). Plus de distinction milieu artificiel et naturel, la notion de P5 disparaît; Son rôle en terme de responsabilité est confirmé
- Définit le rôle et les qualifications du Guide de Palanquée (GP) en immersion

En terme de responsabilités, les exigences du DP et du GP sont confirmées

2. Le cadre réglementaire: le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009) - Suite

- Sont également définies les obligations en termes d'équipements pour les plongeurs autonomes
- Le matériel d'assistance et de secours à avoir à disposition sur le site est clairement identifié

La bloc de secours doit contenir un mélange adapté à la plongée organisée

- Dispositions aussi applicables à la plongée souterraine uniquement pour les qualifications requises pour l'utilisation des mélanges

2. Le cadre réglementaire: le code du sport (arrêté du 23 juillet 2009) - Suite

- L’annexe III-18 fixe les conditions de délivrance et d’équivalence des qualifications Nitrox
- Les annexes III-19a et 19b présentent de façon synoptique les conditions de pratique de la plongée au nitrox en enseignement et en exploration

Toujours la même coquille dans l’arrêté du 23 juillet 2009

L' article A. 322-103 de l' arrêté du 09 juillet 2004 mentionne: « les plongeurs majeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 de plongeur, titulaires de la "qualification nitrox" ou de la "qualification nitrox confirmé" sont, sur autorisation du directeur de plongée, autorisés à plonger en autonomie dans l' espace médian. En l'absence du directeur de plongée, les plongeurs titulaires du niveau 3 ou supérieur de plongée ayant une qualification “nitrox" ou "nitrox confirmé".........peuvent plonger en autonomie...........

COURS 2 : LA DECOMPRESSION

1. L’utilisation des tables MN 90
   a. Notion de profondeur équivalente mer
   b. Profondeur maximale d’utilisation (PMU)
2. Les tables Nitrox de la FFESSM
3. L’ordinateur
4. Contrôle et étiquetage des blocs
5. L’analyse du mélange
6. Procédures et plongée au Nitrox

Pour calculer sa décompression, trois possibilités s'offrent au plongeur :

A. Utiliser un modèle de décompression à l'air (tables ou ordinateur).

Dans ce cas, les avantages du nitrox ne sont pas la maximisation du temps de plongée mais la sécurité et le confort après la plongée (moins de fatigue) dus à une désaturation moins contraignante

Le calcul de décompression se fait comme à l'air : le plongeur suit sa table de décompression à l'air ou son ordinateur programmé en mode air

B. Utiliser des tables à l'air en calculant une profondeur équivalente fonction du nitrox utilisé

L'avantage est de n'avoir qu'une seule table à l'air pour tous les nitrox et d'y reporter une profondeur équivalente

Cette profondeur est calculée à partir de la profondeur maximale réellement atteinte lors de la plongée et du pourcentage d'azote contenu dans le nitrox utilisé

c. Utiliser des tables nitrox ou un ordinateur nitrox

L'avantage : il n'y a pas de calcul de profondeur équivalente à faire, la profondeur réelle est celle qui est directement reportée dans la table

L'inconvénient des tables Nitrox est qu'il faudrait une table différente pour chaque nitrox (un nitrox 32 n'a pas la même table qu'un 36 ou qu'un 34)

Le choix, pour calculer sa décompression, existe mais en pratique celui-ci va dépendre de la raison qui vous conduit à plonger au Nitrox

- Tout comme pour une plongée air, un ordinateur en mode nitrox optimise la décompression par rapport aux tables (Nitrox ou air avec PEA)
- Tout comme à l'air, l'utilisation de tables pour une décompression spécifique au nitrox n'est intéressante que pour des profils de plongée carrés
- Mais, tout comme à l'air, il est conseillé de déterminer sa décompression avec une table (air ou nitrox) même si on utilise un ordinateur
- Utiliser un ordinateur en mode air avec un mélange nitrox, assure sécurité de décompression mais attention au stock de gaz disponible!

NITROX : PLANIFICATION PLUS RIGOUREUSE!

Pour profiter pleinement du nitrox en terme de durée de plongée, utiliser un ordinateur nitrox en ayant planifier sa décompression au préalable reste le plus judicieux. Mais, un tel achat reste un investissement surtout si on possède déjà un ordinateur air.

1. Utilisation des tables MN90

On considérera dans ce cours que l’air contient 80% N_2 et 20%O_2

a. Notion de profondeur équivalent air

Rappel de la Loi de Dalton

$$P^{G}_{part} = Pabs \times [\ \%G]$$

Intuitivement: plongée à 30 m de profondeur réelle

Si respiration à l'air :

Pp N_2 = 4 b x 0,8 = 3,2 b

Si respiration au Nitrox 40/60 :

Pp N_2 = 4 b x 0,6 = 2,4 b (NB PpO_2 = 1,6b donc OK)

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

La pression absolue équivalente air pour une PpN2 de 2,4b est (règle de trois) :

P abs = 2,4 b /0,8 = 3 b

La décompression d'une plongée Nitrox peut être calculée grâce aux tables MN90 air

Dans ce cas de figure, il faut tenir compte non plus de la pression atmosphérique à l'endroit considéré mais du % de N2 réduit d'un mélange Nitrox

Pour un même profile de plongée (dans les limites de la PMU), la décompression avec un nitrox est systématiquement moins contraingante

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

Principe d'utilisation table MN90: conservation des pressions partielles d'azote entre l'air et le mélange nitrox

$$P_{abs}^{air} * \%N2^{air} = P_{abs}^{nitrox} * \%N2^{nitrox}$$

$$P_{abs}^{air}/\%N2^{nitrox} = P_{abs}^{nitrox}/\%N2^{air}$$

d'où, avec les notations d'usage

$$P_{abs}^{eqair} = (\%N2^{nitrox}/\%N2^{air})*P_{abs}^{réel} \quad (1)$$

Ce qui nous donne la P_{eq}^{mer} par la relation entre Pabs et profondeur

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

Application: plongée à 40 m profondeur réelle
Respiration d'un Nitrox 32/68, la PpN2 est à 40m:
Pp N2 = 5 b x 0,68 = 3,4 b (NB PpO2 = 1,6b donc OK)

La pression absolue équivalente air:
P_{abs}^{eqair} = 3,4 b / 0,8 = 4,25 b

d'où une Profondeur équivalente air = 32,5 m

Sachant que (Profondeur = (Pabs– 1) X 10), on peut déduire de la formule (1) celle donnant directement la profondeur équivalent air

Pea = [[(%N2/0,80)] * (Préel+10)]-10 (2)

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

Donc plonger à 40m avec un Nitrox 32/68 revient – d'un point de vue désaturation – à plonger à 32.5m à l'air

Illustration : la courbe de sécurité air pour 30m donne 10minutes ; Celle pour un Nitrox 40/60 : 35 minutes (on entre dans les tables à 22m)

Remarques : On raisonne par rapport à la Ppart de N2 et non de O2… Pourquoi?

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

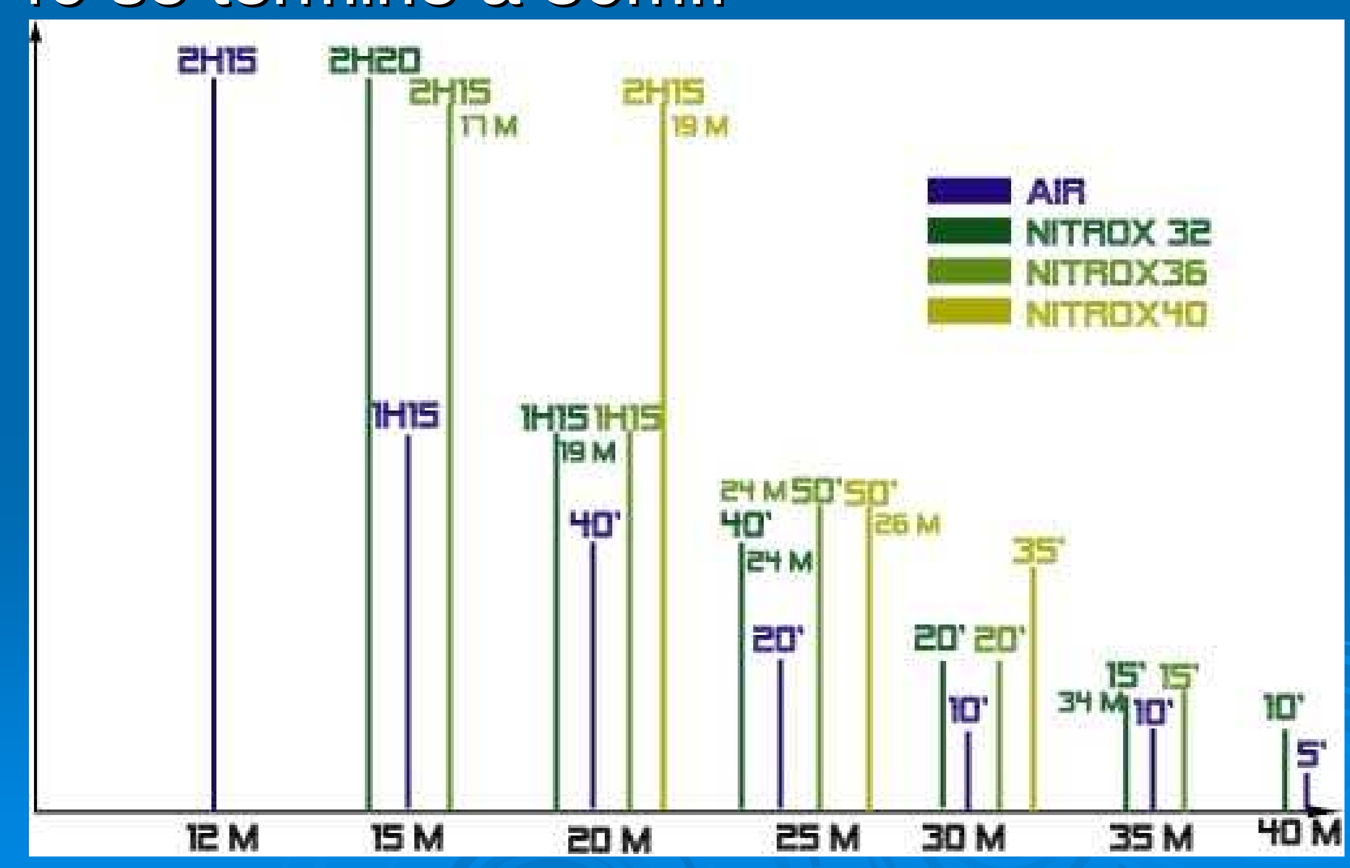
rofondeur réelle en mètres	Profondeur équivalente en mètres pour les tables MN 90		
	32/68	36/64	40/60
12	10	8	8
15	12	12	10
18	15	15	12
20	18	15	15
22	18	18	15
25	22	20	18
28	25	22	20
30	25	25	22
32	28	25	
35	30		
38	32		
40	35		

NB : Les procédures successives, consécutives ou d'urgence, sont identiques à celles mises en place pour une plongée air mais il faut tenir compte de la PAE

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

Chaque Nitrox a sa propre courbe de sécurité; intéressant pour les plus utilisés (32%, 36%, 40%).

Mais attention aux profondeurs. La courbe de sécurité d'un Nx 40 se termine à 30m!!



1. Utilisation des tables MN90 (suite)

a. Notion de profondeur maximale d'utilisation (PMU)

Ici en raisonne à Nitrox donné (et non plus N2 comme pour PEA)

Compte tenu du seuil hyperoxique de 1.6b, à chaque Nitrox correspond une profondeur limite d'utilisation (PMU) au delà de laquelle il y a risque

Exemple: Pour un Nitrox 32/68, PMU = 40m

Pour un Nitrox 36/64: PMU = ??

1. Utilisation des tables MN90 (suite)

Mais on peut aussi raisonner à profondeur plancher…

Exemple : En Egypte, la réglementation impose de plus en plus une profondeur de plongée maximale de 40 m.

Quel est le Nitrox qui vous permettra de limiter vos paliers?

Quel est le temps de palier pour un temps table de 40minutes?

Distraction: Un petit calcul rigolo!!!

Quelle est la profondeur limite non saturante d'un nitrox au niveau de la mer? De quel nitrox s'agit-il?

Réponse : 14M – Nitrox 67/33

Donc au-delà de 14m, on sature! Et pour ne pas saturer en deçà il faut utiliser un Nitrox 67/33.

Et à l'air....?

Il y a donc plusieurs façons de concevoir l’utilisation d’un mélange Nitrox (sans oublier l’intérêt pour les plongées d’encadrement – Ecolage avec un 50/50 Quel confort!!)

Exercice 1: Une palanquée s’immerge à 9H en respirant un mélange suroxygéné 30/70. La profondeur table est de 43m et le temps table de 27minutes. Paliers et HS?

La gendarmerie attend cette palanquée en surface pour un contrôle. Raisons d’une éventuelle verbalisation?

Exercice 2: Une palanquée s'immerge à 9H30 à une profondeur table de 30m. Le temps table est de 60 minutes.

Si cette palanquée souhaite sortir de l'eau au plus tard à 10H46, quel est le % minimal d'oxygène que le mélange (O_2/N_2) respiré doit contenir?

(on considère air : 20%O_2 et 80%N_2)

Ne jamais oublier de contrôler la toxicité du mélange à la profondeur d'utilisation (PpO_2 < 1,6b) et que la durée d'utilisation est < 2H (recommandation fédérale – voir plus loin incidences physiologiques de l'O_2)

Pour revoir et vous entraîner

09H15 canard pour une plongée à l'air. Profondeur 25m avec surface à10:05

14:00 plongée 2 au Nitrox 36/64 même profondeur, même temps

A quelle profondeur allez-vous rentrer dans les MN90?

Quelle est l'heure de sortie et le GPS pour cette seconde plongée?

Rep. HS = 10:45

2. Les tables nitrox de la FFESSM

La FFESSM dispose de tables de plongée Nitrox pour les mélanges les plus courants : 32/68; 36/64; 40/60 (cf documents distribués)

- Elles sont dérivées des MN90 (même compartiments, SC)
- Elles se présentent et s'utilisent identiquement (procédures, vitesse, profondeur paliers, etc.)
- Elles existent en format immergeable
- Quand on plonge avec un Nitrox autre, on peut utiliser la table pour un nitrox ayant un pourcentage d'O2 inférieur (donc de N2 supérieur)

2. Les tables nitrox de la FFESSM

Ces tables ont, cependant, quelques particularités:

- Les profondeurs grisées – italiques dans les tables distribuées - sont les profondeurs limites à ne pas dépasser (Ppo_2 = 1.6 bars).
- Une colonne indique les temps de palier au nitrox et une autre les temps de palier à l'oxygène pur (procédure rappelée ci-après)
- Toute plongée permet de déterminer un GPS qui est utilisé pour calculer un taux d'azote résiduel en fonction de l'intervalle de surface. Ce taux d'azote résiduel est exprimé sous forme d'une lettre minuscule ce qui diffère des MN90 où il s'exprime sous forme numérique. Ces lettres minuscules ne doivent être confondues avec les lettres majuscules qui sont utilisées pour le GPS

2. Les tables nitrox de la FFESSM

Exemple d'application - plongée successive

Première plongée Gps = I et l 'intervalle est de 3 h

2ème plongée au Nitrox 36/64 de 30 mn à 30 m

Déterminer les paliers de la seconde plongée.

Rép : 21mn à 3m ou 14mn si palier O2pur

RAPPEL – Paliers O2 pur

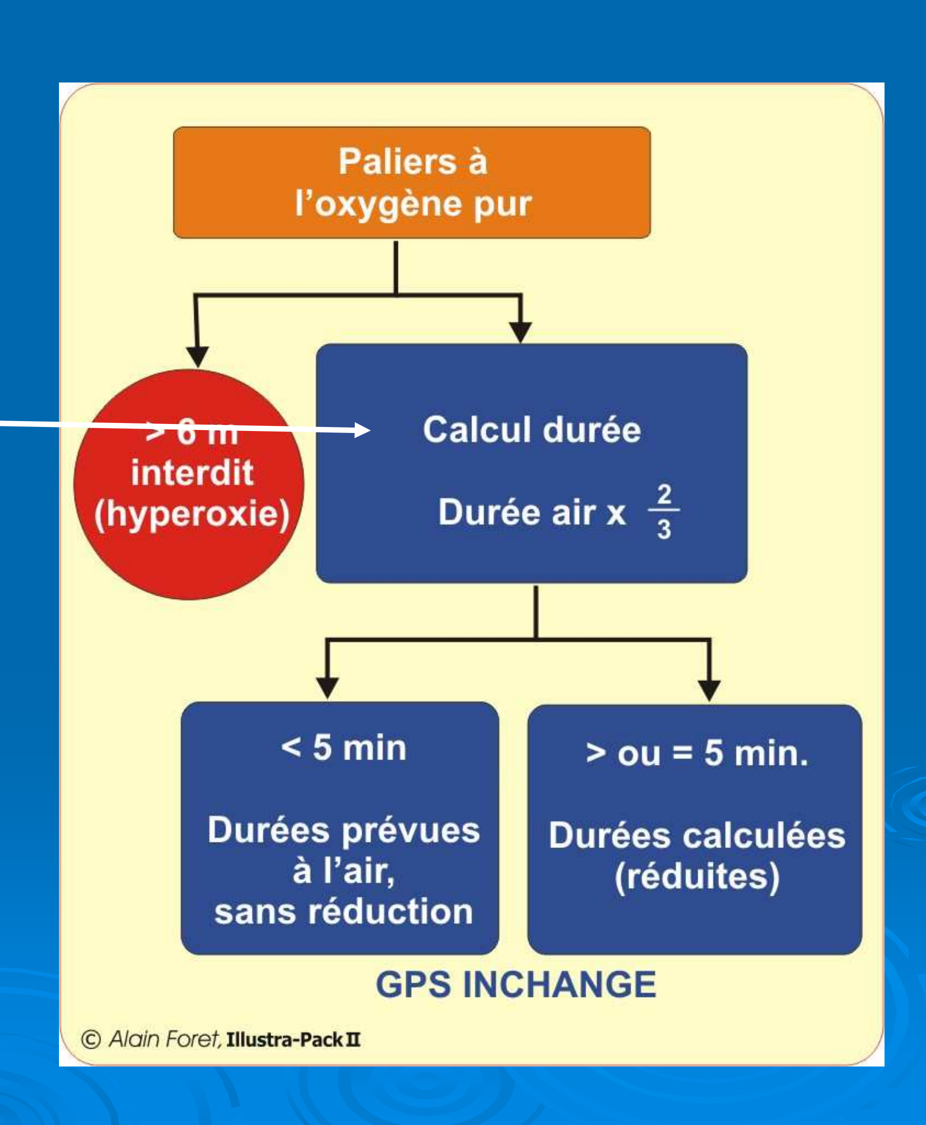
A garder à l'esprit

- Cette technique est réservée à des plongeurs expérimentés
- la Ppo2 critique étant de 1.6 bars, la profondeur limite à l'oxygène pur est donc de 6 mètres. A 7 mètres, le plongeur atteint une Ppo2 de 1.7 bars ce qui représente un danger (dans la zone proche de la surface, une petite variation de profondeur entraîne une forte variation de la Ppo2)
- Respirer de l'oxygène pur au palier après une plongée Nitrox augmente l'accumulation d'O2 dans l'organisme (voir le cours de physiologie)
- Le bloc d'oxygène doit être équipé d'un matériel parfaitement dégraissé et compatible O2 pur. Ce bloc peut être embarqué, ou au pendeur (voire un narguilé) mais il doit être clairement identifié!

RAPPEL – Paliers O2 pur

Procédure fédérale

Avec un minimum de 5 minutes



3. Ordinateur Nitrox

La première chose à faire avant de plonger avec un ordinateur nitrox, est de rentrer plusieurs informations :

- %O2 ; selon modèle jusque 99% (incrémentation 1%)
- La Ppart O2 maximale à ne pas dépasser (alarme)
- PMU (alarme)

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Le pourcentage de N2 (=100% - %O2) sert à calculer la décompression

Le plongeur peut minorer ce dernier (%O2) par rapport à son nitrox (décompression plus sévère)

Mais, l'appareil n'est alors plus sécurisant quant au risque d'hyperoxie

Il suffit alors de fixer la PMU en fonction du %O2 réellement contenu dans la bouteille

On obtient ainsi un ordinateur sécurisant pour la décompression et réagissant à une profondeur que l'on a soi-même définie pour éviter tout risque d'hyperoxie

3. Ordinateur Nitrox (suite)

On va dans le sens de la sécurité en

1. abaissant le %O2 d'un Nx pour le calcul de la décompression, et
2. augmentant le %O2 pour définir la PMU

Comme pour la plongée air, il est nécessaire de respecter les règles suivantes

- Garder le même ordinateur pendant une période de plongées répétitives
- Garder des profils de plongée ascendants (profondeur max au début)
- Respecter les vitesses de remontée
- Comme avec les tables, il est conseillé de ne pas faire plus de deux plongées par jour
- Ne vous fiez pas aux alarmes (atn PMU) contrôler régulièrement votre ordinateur

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Certains affichages paraissent insolites au plongeur air non initié au nitrox. Certaines machines affichent un symbole SNC ou CNS (toxycité neurologique) avec un pourcentage à côté. Ou encore, un signe ésotérique OTU ou UPTD (toxycité pulmonaire) avec un nombre derrière. Il s'agit de compteurs "oxygène" qui servent à comptabiliser la charge toxique d'oxygène respiré par le plongeur. Comme pour ordinateur AIR, il est impératif de lire manuel d'utilisation pour savoir à quoi correspondent les indications fournies.

Ces deux compteurs ne doivent pas dépasser certains seuils pour éviter tout risque d'accident au plongeur. Ces seuils et ces notions sont présentées au cours physiologie

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Le Vytec

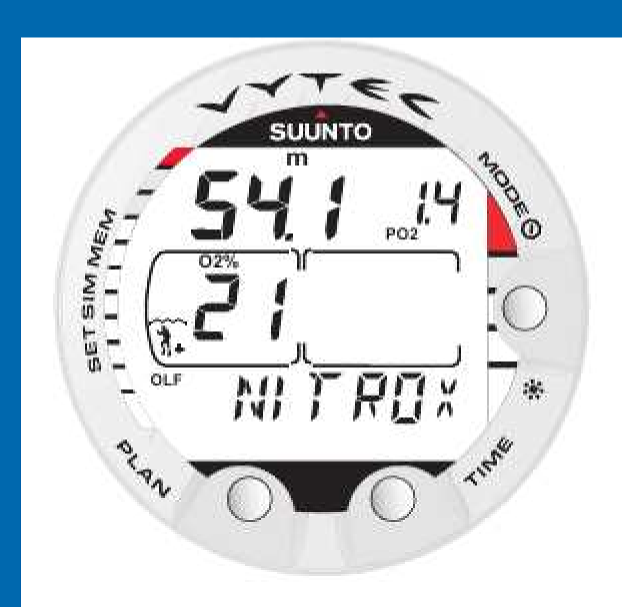


Fig. 3.21. Affichage nitrox. La profondeur maximale basée sur des réglages 02% (21%) et PO2 (1.4 bar) est de 54.1 m.



Fig. 3.22. Plongée nitrox. L'02% est réglé à 32%.

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Le Vytec



Fig. 3.24. Affichage de la pression partielle d'oxygène et de l'indicateur OLF. Une alarme sonore retentit quand la pression partielle est supérieure à 1.4 bar ou à la valeur choisie, l'indicateur OLF a atteint 80%.



Fig. 3.26. L'OTU atteint la limite de toxicité. Le segment inférieur clignote et une alarme sonore retentit.

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Le Vytec



Fig. 3.27. Changer le mélange. Le mélange actuel est le MIX 1 (21%). Faire défiler les autres en appuyant sur le bouton PLAN ou TIME. Sélectionner en appuyant sur le bouton MODE (OK).

3. Ordinateur Nitrox (suite)

Le Galileo

- + >>

O2%: 30 %

ppO2max: 1.40 bar

MOD: 36.7 m

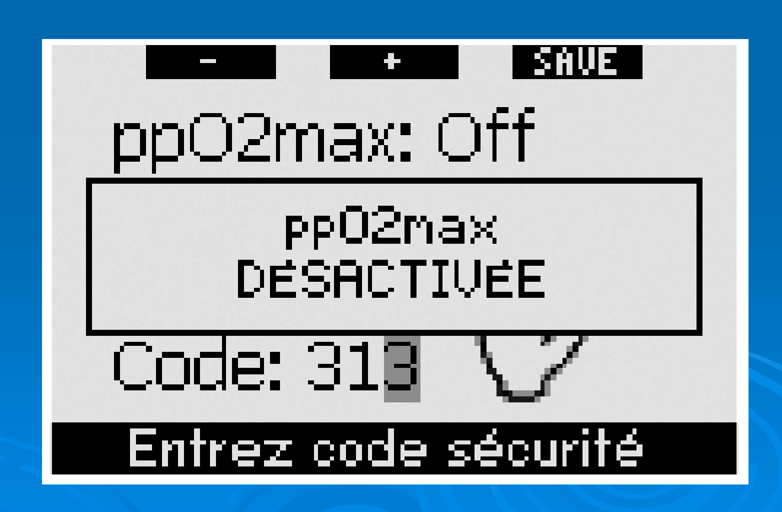
Réglage O2: 21..100%

- + SAVE

ppO2max: 1.40 bar

Code : ___

ppO2max:1.2..1.6bar,off



4. Contrôle et étiquetage des blocs

Le « Gaz Blender » doit

1. Porter sur le fût du bloc (étiquette autocollante par exemple):
   - Le %O2 suite à l'analyse
   - Date de l'analyse
   - Son nom

2. Consigner dans un registre : identification du bloc, sa pression de remplissage, le résultat de son analyse, son nom, la date de l'analyse et sa signature

4. Contrôle et étiquetage des blocs (suite)

L'utilisateur final doit ajouter sur l'étiquette du bloc:

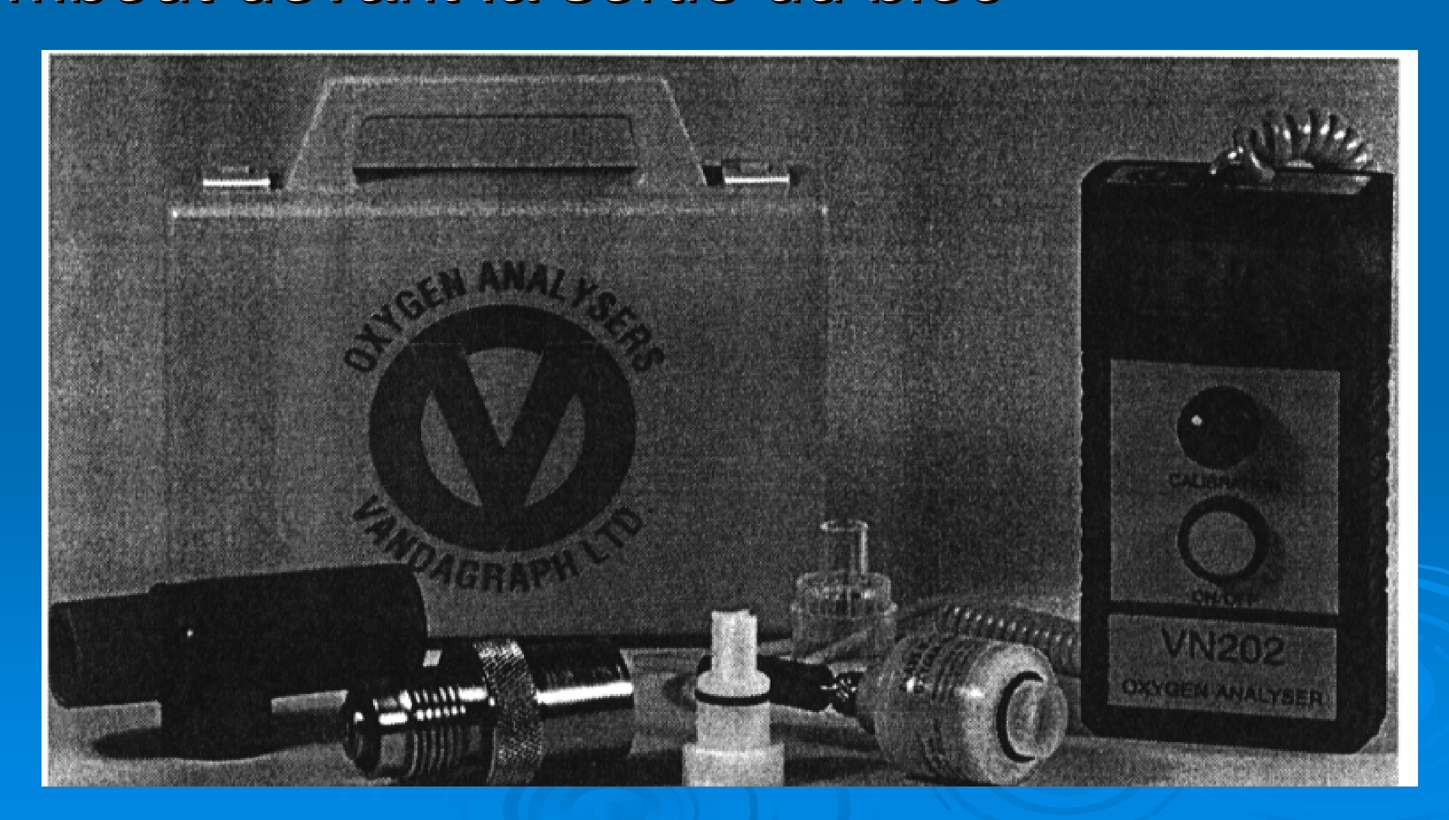
1. Le résultat de sa propre analyse
2. La PMU
3. La date de son analyse
4. Son nom ou initiales
5. Il doit également consigner les éléments de son analyse dans le registre et le signer

Il doit être fait en sorte que des bouteilles contenant des mélanges respiratoires différents ne puissent être échangées accidentellement

5. L'analyse du mélange

Une analyse ne se fait jamais à chaud!!

Il est obligatoire (mais aussi plus prudent) pour le plongeur d'analyser son mélange avant de plonger. Cela se fait à partir d'un Analyseur dont on place l'embout devant la sortie du bloc



5. L'analyse du mélange (suite)

Un analyseur a une durée de vie limitée. La sonde se dérègle avec le temps. Il faut donc l'étalonner avant chaque analyse pour s'assurer qu'il est capable d'identifier le %02 dans l'air ambiant. Une bonne analyse se déroule ainsi :

1. On purge la robinetterie du bloc (l'analyseur n'aime pas l'eau)
2. On étalonne l'appareil à l'air (21%)
3. On ouvre doucement la robinetterie et on positionne l'embout de l'analyseur à la sortie. On attend de 10 à 30 secondes que la mesure se stabilise. On note le %O2 mesuré
4. On ferme la bouteille et on attend que l'analyseur redescende à 21%. S'il ne le fait pas ou s'il reste imprécis, réitérer l'analyse. Si le problème persiste, il est temps de changez la sonde!

5. L'analyse du mélange (suite)

Les analyseurs les plus courants sont à sonde galvanique. Ils ont une marge d'erreur d'environ 1% (réflexion : frôler la Ppo2 limite de 1,6 bars avec un mélange dont on peut douter du pourcentage n'est pas très prudent)

L'analyseur est sensible à la chaleur, sa précision en dépend. C'est pourquoi, un mélange encore chaud donne une analyse peu précise. Pour la même raison, on évitera de tenir l'embout à pleines mains, afin de ne pas transmettre la chaleur

Par ailleurs, le mélange peut ne pas être homogénéisé juste après le gonflage; il est recommandé d'analyser le mélange plusieurs heures après le gonflage et de préférence avant la plongée

5. L'analyse du mélange (suite)

RAPPEL & RECOMMANDATIONS

Si % d'oxygène supérieur à 40%, un équipement non dégraissé ne peut être gréé sur le bloc. Il faut impérativement un détendeur, un direct système de gilet et de combinaison étanche compatibles O2 pur (propres, graisse spécifique, etc.)

Le contenu de la bouteille étant analysé, le plongeur doit calculer sa PMU et remplir les formalités d'étiquetage du bloc puis consigner ces informations dans le registre

5. L’analyse du mélange (suite)

RAPPEL RECOMMANDATIONS (suite)

Il est conseillé de calculer sa PEA afin de se donner un repère par rapport à son profil de décompression (indispensable de calculer cette dernière si le plongeur suit une décompression nitrox à l'aide d'une table air)

On n’a plus qu’à y aller!!!

6. Procédures et plongées au Nitrox

Outre les procédures de fabrication qui seront présentées dans un prochain cours, les procédures plongée air restent de mise. Seules les procédures spécifiques au Nitrox sont discutées ici

Avant la plongée - mélange préparé - **:** Analyse du mélange et déterminer:

- Analyse du mélange
- Etiquetage du bloc (avec PMU) et signature du carnet de gonflage
- Détermination de la profondeur équivalente (pour déco avec MN90 et / ou back-up ordinateur nitrox)
- Planification de la plongée (paliers éventuels, ordinateur nitrox, etc…)

6. Procédures et plongée au Nitrox (suite)

Pendant la plongée : Plongée classique mais :

- Respect scrupuleux de la PMU
- Connaître les signes de l'hypoxie et ne pas hésiter à interrompre la plongée
- Plongeur dans la palanquée équipé « air» pouvant éventuellement intervenir au-delà de la PMU. Selon la plongée, décompression O2/Nitrox pour ce plongeur si Nitrox confirmé

Après la plongée

- Si durée d 'exposition importante => calculer les OTU et le %CNS
- Signer le carnet de plongée en indiquant mélange utilisé

Préparation des plongées à Hermance (Weekend 1)

Gonflage des blocs (2 * 36% et 2 * 40%) par Franck ou Bernard

- RDV à Hermance le dimanche à 09:00 précise pour analyse des mélanges
- Sur site, analyse par le plongeur avec détermination PMU, étiquetage des blocs et signature du registre
- Pour ces 2 plongées avec mélanges différents – objectif tenir une profondeur plancher!
- A préparer :
  - Courbe de sécurité pour Nitrox 36 et 40
  - Calcul de sa déco avec table air pour
    - Plongée samedi : 32%, temps table 23 minutes à 30m
    - Plongée dimanche : 36%, temps table 25 à 21m
  - Programmation de son ordinateur

FORMATION
Nitrox confirmé

COURS 3 : PHYSIOLOGIE

1. L'OXYGENE
2. L'HYPOXIE
3. TOXICITE NEUROLOGIQUE (Effet Paul Bert)
4. TOXICITE PULMONAIRE (Effet Lorrain Smith)
5. EN PRATIQUE

1. L'oxygène

- L'oxygène est un gaz incolore inodore et insipide
- L'oxygène est très réactif et se lie rapidement à d'autres substances - « Oxydation » - exemples : les fruits mûrissent en présence d'O2 , les métaux rouillent, un feu s'éteint si l'arrivée en O2 est interrompue
- L'oxygène n'est pas combustible en lui-même mais favorise considérablement le processus de combustion
- Beaucoup d'utilisations médicales et industrielles

1. L'oxygène (suite)

- Contrairement à l'azote, l'oxygène est indispensable à la vie sur terre
- On ne peut pas retirer totalement l'oxygène de l'air que nous respirons : l'organisme réagit à une pression partielle d'oxygène trop faible
- Par ailleurs, une pression partielle d'oxygène trop élevée est également source de problème

L'oxygène n'est toléré par l'homme que dans une plage de pressions partielles relativement étroite. En dehors de cette plage des effets cliniques peuvent apparaître

1. L'oxygène (suite)

- PpO2 = 0.12b Seuil anoxique (Sous-alimentation en O2 – Coma, Mort
- PpO2 = 0,16b Seuil hypoxique (arrêté de 2004)
- Pp02 = 0,21b Ppar normale pour l'être humain (Normoxie)
- PpO2 = 0,50b Peut-être supporté par notre organisme pendant une très longue période sans conséquence néfaste – Exposition maximum à saturation
- PpO2 = 1,4b Ppar recommandée en plongée sportive – conditions difficiles
- PpO2 = 1,6b limite maximale en plongée sportive (code du sport
- PpO2 = 2,0b limite pour les plongeurs militaires et professionnels
- PpO2 = 2,8b Utilisation thérapeutique - dose d'O2 nécessitant un séjour en chambre de décompression pour traiter l'accident de décompression

1. L’oxygène (suite)

Par conséquent, 2 types de danger liés à l’oxygène :

- Crise hypoxique
- Crise hyperoxique, elle-même de 2 types :
  - Toxicité neurologique (Effet Paul Bert)
  - Toxicité pulmonaire (Effet Lorrain-Smith)

2. L'hypoxie

- Le risque de crise hypoxique apparaît quand la pression partielle d'O2 passe au dessous de 0,16b (Arrêté 2004)
- Le plongeur peut alors être confronté à une syncope hypoxique (du même genre que le rendez-vous syncopal des 7 m connu chez les apnéistes)
- DANGER : aucun capteur nerveux ne permet de détecter le manque d'oxygène. Par conséquent, la syncope hypoxique n'est précédée d'aucun signal avant-coureur

2. L'hypoxie (suite)

- Signes et symptômes : Engourdissements, perturbations visuelles, pertes de coordination, endormissement progressif

- Mais pourquoi parler de risque hypoxique, dans un cours nitrox?

  Outre l'erreur humaine toujours possible dans la confection du mélange (facilement évitable par l'analyse cf plus loin);

  ⇨Pour expliquer l'intérêt de la plongée Nitrox en altitude (cf. annexe)

2. L'hypoxie (suite)

A 4000m d'altitude, la pression atmosphérique est:
(1- (4000/8000)) = 0,5b.

La composition du gaz pulmonaire à cette altitude est :
$PpCO_2$ = 0,05b PpH_2O = 0,02b
PpO_2 = 0,05 PpN_2 = 0,38b

La PpO_2 au niveau de la mer est trois fois plus élevée (0,15b) alors que la pression absolue ne l'est que 2 fois. L'organisme est donc bien en hypoxie. Par ailleurs, comme les Pp de Co2 et H2O sont indépendantes de l'altitude, cette plus grande « concentration » en altitude vont d'une part modifier les échanges gazeux et d'autre part accentuer l'hypoxie ; facteur favorisant et aggravant de l'ADD

2. L'hypoxie (suite)

Les nitrox, en tant que mélanges suroxygénés vont pouvoir corriger cette tendance hypoxique liée à l'altitude. Cependant, comme nous le verrons plus loin (cf. Annexe), les procédures habituelles de décompression en altitude restent dangereuses au delà de 2500-3000m

3. La toxicité pulmonaire

L'effet Lorrain Smith est la conséquence de la toxicité pulmonaire de l'O2

Cause : la respiration d'oxygène à une faible pression partielle (0,5b) sur une très longue période va créer une inflammation pulmonaire qui va endommager le surfactant (film protéique recouvrant les alvéoles où se tiennent les échanges gazeux)

Signes cliniques : chaleur, brûlures dans la poitrine , picotements rétro-sternaux, dyspnée, insuffisance respiratoire aiguë puis détresse

Conséquences : Phénomène réversible totalement au début mais qui peut conduire en quelques heures à une diminution irréversible de la capacité vitale. Tolérance très variable d'un individu à l'autre

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Différentes méthodes ont été élaborées pour mesurer cette toxicité pulmonaire. La plus simple est :

- Le compteur Unit Pulmonary Toxic Dose (UPTD).

Dose (UPTD) = t x kp avec :

t le temps d'exposition et kp = $\left\{\frac{(PpO2 - 0{,}5)}{0{,}5}\right\}^{0{,}833}$

Une UPTD correspond à la dose toxique produite par une respiration d'O2 pur à 1 bar pendant une minute.

3. La toxicité pulmonaire (suite)

La valeur maximale admissible par jour en terme d'UPTD fut fixée initialement à 1440 UPTD par les anglo-saxons. Cette valeur correspond à un traitement à l'oxygène pur à 1 bar respiré pendant 24 heures:

24 h x 60 min x 1 UPTD/min = 1440 UPTD

En France, la dose maximale admissible par exposition se situe à 600(Dr Gardette) lors d'activités opérationnelles.

Durée maximale recommandée à une Pp O2 de 1.6 bars = 4 heures.

La FFESSM recommande de ne pas dépasser 2 heures quelque soit la Pp.

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Exemples :

Cas d'une plongée de 120 min à 20 m avec un nitrox 40/60

Pp O2 = 1.2 bars

Dose (UPTD) = 120 x 1.32 = 158.4

Cas d'une plongée de 120 min à 30 m avec un nitrox 40/60

Pp O2 = 1.6 bars

Dose (UPTD) = 120 x 1.93 = 231.6

NB : Pour des expositions complexes, on découpe le profil de plongée en sections de Pp O2 constante et on additionne les valeurs d'UPTD de chaque section

Calcul de l'UPTD: Facteur de correction Kp

PpO2 (ATA)	Kp	PpO2 (ATA)	Kp
0,55	0,15	1,10	1,16
0,60	0,26	1,15	1,24
0,65	0,37	1,20	1,32
0,70	0,47	1,25	1,40
0,75	0,56	1,30	1,48
0,80	0,65	1,35	1,55
0,85	0,74	1,40	1,63
0,90	0,83	1,45	1,70
0,95	0,92	1,50	1,78
1	**1**	1,55	1,85
1,05	1,08	1,60	1,93

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Devant les risques de toxicité pulmonaire, le chercheur hyperbarique américain Hamilton impose, en 1989, les OTU à la communauté internationale.

Identique à l'UPTD dans sa définition - Une OTU correspond à la dose toxique produite par une respiration d'O2 pur à 1 bar pendant une minute – ce concept va permettre un suivi de la toxicité à l'oxygène sur une période plus longue, ce qui est intéressant en cas de plongées successives sur plusieurs jours. C'est pour cette raison que c'est le concept le plus répandu en plongée sportive. En d'autres termes, à la différence de l'UPTD, l'OTU est un concept agrégable.

Tout comme pur l'UPTD, des tables existent qui donnent l'OTU par minute en fonction de la PpO_2

Pp O2 en bars	OTU par minute d’exposition
1.6	1.92
1.5	1.78
1.4	1.63
1.3	1.48
1.2	1.32
1.1	1.16
1.0	1.00
0.9	0.83
0.8	0.65
0.7	0.47
0.6	0.27
0.5	0

NB : Ce ne sont rien d’autres que les valeurs de Kp du tableau slide 14

3. La toxicité pulmonaire (suite)

La dose maximale d'OTU admissible en 24 H est de 850. Mais tout comme l'azote, lors de plongées répétitives sur plusieurs jours, il y accumulation de doses toxiques résiduelles dans les tissus dont il est nécessaire de tenir compte pour les jours suivants

La méthode REPEX/OTU d'Halmiton va permettre de quantifier ce qui se passe. Tabulée, cette méthode donne les limites journalières d'exposition à la toxicité pulmonaire à ne pas dépasser et permet de suivre notre "intoxication" à l'O2

En fait, cette méthode unifie les 2 notions de toxicité pulmonaire (longue exposition à des Ppo2 faibles) dans un concept de toxicité globale

REPEX – unification des 2 compteurs

Numéro des jours consécutifs de plongée	Dose maximale d'OTU par jour	Dose cumulée maximale d'OTU
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Exemples

Combien de temps peut-on rester à 1.6 bars de Pp O2 sans dépasser 850 OTU ?

1.6 bars => 1.92 OTU/min

1.92 x temps = 850

Temps = 850 / 1.92 = 442 min = 7 heures

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Exemples (suite)

- Jour 1 am : plongée à 30 m pendant 1 h (nitrox 40/60)

  Jour 1 pm : plongée à 20 m pendant 1h30 (nitrox 40/60)

Calcul des OTU

Jour 1 am : Pp O2 = 1.6 bars => Kp = 1.93

dose (OTU) = 60 x 1.93 = 115.8

Jour 1 pm : Pp O2 = 1.2 bars => Kp = 1.32

dose (OTU) = 90 x 1.32 = 118.8

Total jour 1 => 234.6 (pas de pb pour la journée, le seuil est 850)

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Exemples (suite)

Jour 1 am : plongée à 30 m pendant 1 h (nitrox 40/60)

Jour 1 pm : plongée à 20 m pendant 1h30 (nitrox 40/60)

Le jour 2 on souhaite plonger à 35 m pendant 1 h avec un nitrox 32/68

Calcul des OTU

Jour 2 : Pp O2 = 1.44 bars => Kp = 1.7

dose (OTU) = 60 x 1.7 = 102

Total jour 2 => 102 (pas de pb pour la journée, le seuil est 700)

Total cumulé des 2 jours => 234.6 + 102 = 336.6

Pas de pb pour le cumul, le seuil est 1400

3. La toxicité pulmonaire (suite)

Conclusion



Comme le montrent les calculs, l'effet Lorrain-smith concerne très rarement les plongeurs sportifs, même au cours d'importantes plongées souterraines

ATTENTION : UPTD, OTU et REPEX ne concernent que l'effet Lorrain-Smith et non pas le...

4. La toxicité neurologique

L'effet Paul Bert est la conséquence de la toxicité neurologique de l'oxygène due au dépassement accidentel et important de la PMU ou lors de l'utilisation d'1 nitrox non adapté à la profondeur

Cause : L'oxygène devient toxique lorsqu'il est respiré une certaine pression partielle. En excés, des radicaux libres d'O2 (oxydants) vont se former et du fait de leur forte réactivité vont influer ouvertement sur les cellules sensibles du cerveau pouvant entraîner une décharge incontrôlée d'impulsions nerveuses

NB : Le temps d'exposition à l'O2 est ici plus court. Le maintien à une PpO2 proche de 1.6b réduit de manière importante la durée maximale permise. D'où la préconisation de prévoir une PpO2 de 1,4b ce qui induit une bonne marge de sécurité compte tenu de la durée de nos plongées

4. La toxicité neurologique (suite)

Signes cliniques : crises convulsives d'apparition brutale de type épileptique. Rarement de signes annonciateurs (10% des cas) mais parfois :

- raideur de la face/tremblement des lèvres (perte de détendeur)
- nausées, vertiges
- rétrécissement du champ visuel
- bourdonnement
- euphorie, trouble du comportement

En d'autres termes, comme le système nerveux central est le siège de l'équilibre, du comportement, de la motricité, de la vision, et de l'ouïe, toutes ces fonctions sont perturbées.

Profondeur en m	Pressions air en bars	Pp O2 en bars Nitrox 32/68	Pp O2 en bars Nitrox 36/64	Pp O2 en bars Nitrox 40/60	Pp O2 en bars Nitrox 50/50
6	0.33	0.51	0.57	0.64	0.80
9	0.40	0.60	0.68	0.76	0.95
12	0.46	0.70	0.79	0.88	1.10
15	0.52	0.80	0.90	1.00	1.25
18	0.59	0.90	1.01	1.12	1.40
21	0.65	0.99	1.12	1.24	1.55
24	0.71	1.09	1.22	1.36	1.72
27	0.77	1.18	1.33	1.48	
30	0.84	1.28	1.44	1.60	
33	0.90	1.38	1.55	1.72	
36	0.97	1.47	1.66		
39	1.03	1.57			
42	1.09	1.66			
45	1.15				

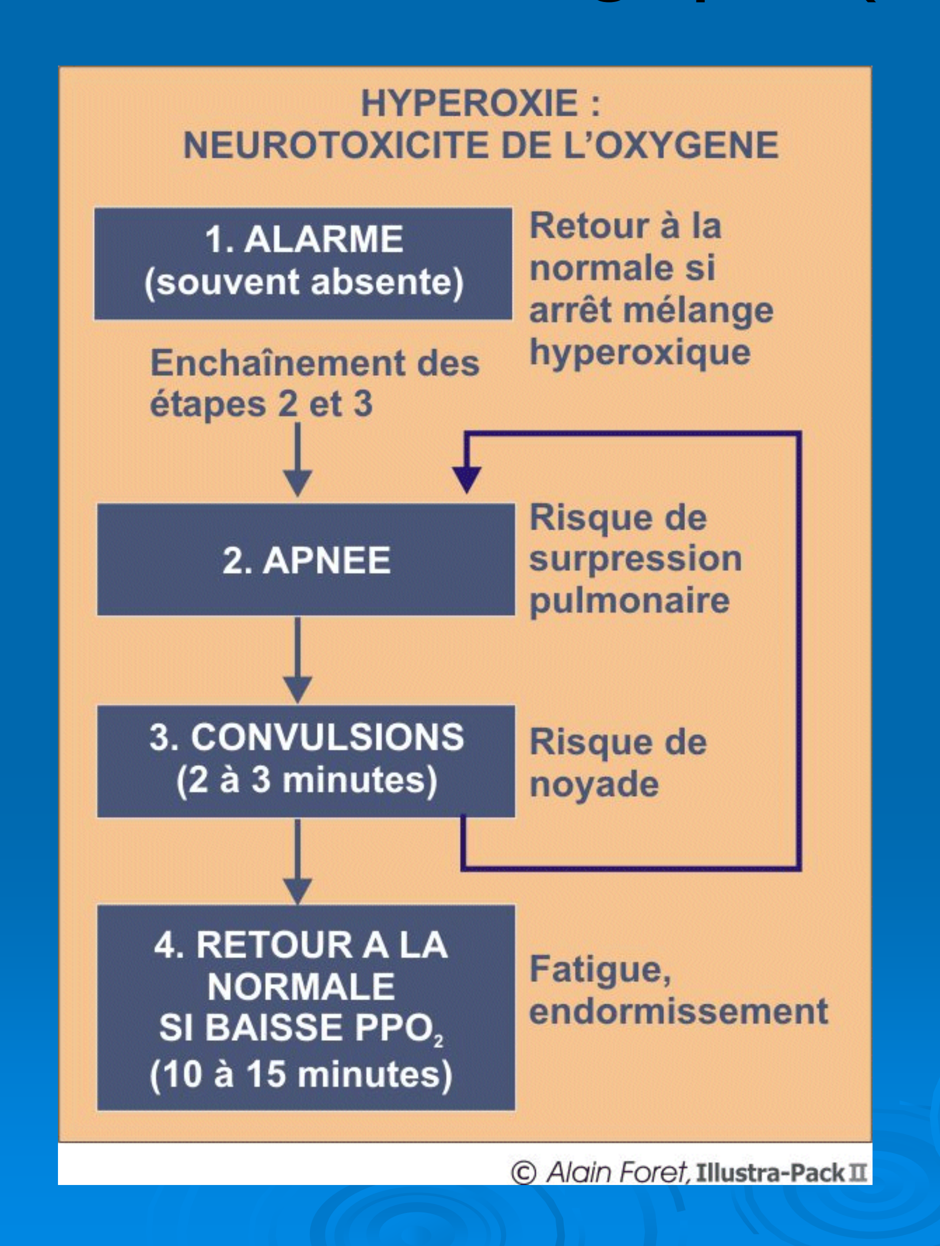
4. La toxicité neurologique (suite)

Symptômes

Certains auteurs distinguent 3 phases :

- Phase d'apnée tonique (30 s à 2 min) : contraction des muscles, crampes, perte de connaissance, le cerveau envoie des ordres incohérents aux muscles, arrêt respiratoire, apnée, la personne se débat de façon désordonnée, le larynx est fermé
- Phase clonique (2 à 3 min) : sommet de la crise, ressemble à une crise d'épilepsie avec contractions et décontractions musculaire, le larynx reste toujours fermé
- Phase de récupération ou résolutive (5 à 30 min) : les convulsions disparaissent après quelques minutes, la victime reste prostrée (coma post critique). Puis le plongeur reprend sa respiration en s'hyperventilant, la conscience revient, une activité normale reprend sans souvenir de la crise. Le larynx est alors ouvert.

4. La toxicité neurologique (suite)



4. La toxicité neurologique (suite)

Ici également, la tolérance est très variable d'un individu à l'autre ; le corps possèdant des défenses naturelles contre la production d'oxydant

Par ailleurs une presssion partielle que nous tolérons un jour peut se révéler trop élevée le lendemain

Finalement, l'environnement du plongeur modifie sa sensibilité. Au repos, à chaud et au sec, le plongeur risque beaucoup moins une telle crise que s'il travaille en eau froide et en humide

Facteurs favorisants : Les efforts physiques et le froid accentuent la sensibilité à l'oxygène, c'est pour cela que dans ces conditions difficiles la PpO_2 doit être fixée à 1,4b

4. La toxicité neurologique (suite)

Conduite à tenir

- Baisser la Pp O2 en anticipant la phase tonique ; passer à l'air si possible

- En cas de crise, ne pas remonter la victime durant les phases tonique et clonique : le larynx étant fermé, il y a risque de surpression pulmonaire ou embolie gazeuse. Veiller simplement à ce que le plongeur ne crache pas son embout et ne descende pas plus bas. Par ailleurs, pendant la phase tonique, l'agitation de l'accidenté peut être dangereuse pour le sauveteur

4. La toxicité neurologique (suite)

Conduite à tenir (suite)

- Il faut profiter de la phase résolutive pour effectuer une remontée assistée en maintenant l'embout en place et la tête en extension vers le haut pour dégager les voies aériennes et favoriser l'expiration (prise sauvetage)

- Maintenir la victime au chaud et au calme, Alerter les secours (risque ADD si paliers écourtés)

4. La toxicité neurologique (suite)

Prévention

- Contrôler la teneur en O2 du nitrox.
- Identifier précisément les bouteilles contrôlées.
- Respecter la PMU et le seuil de PpO2 de 1,4b en mélange fond (1,6b max), c'est à dire 25 m (30 m maxi) avec un Nitrox 40/60.
- Reconnaître les signes annonciateurs et dans ce cas, remonter immédiatement. Attention à la surpression pulmonaire.
- Ne pas dépasser 2 heures de plongée avec un mélange suroxygéné (préconisation FFESSM).
- Diminuer ces limites en cas de plongées au froid ou de courant ET….

4. La toxicité neurologique (suite)

Il est donc important de pouvoir calculer l'exposition maximale à l'O2. Celle-ci est donnée par la table de la NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

Règles d'utilisation de la table :

- Si en plongée simple on atteint la limite de la table alors la successive nécessite un IS de 2 H minimum avec respiration d'air en surface
- Si en successive on atteint la limite du tableau en 24h, il faut attendre 12H minimum
- Si IS inférieur à 2h il faut ajouter la toxicité des 2 plongées en additionnant la durée totale des 2 plongées et en considérant la PpO2 la plus élevée des 2

4. La toxicité neurologique (suite)

Illustration 1 :

Plongée 1 : 26mn 30m avec du 36%. Plongée 2: 24mn 18m avec du 32%. IS 1H

1) La plongée successive peut-elle se faire?

2) Quelle pourrait être la durée maximale de la plongée successive?

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

PRESSIONS PARTIELLES D'OXYGENE ET DUREES LIMITE D'EXPOSITION

POUR DES PLONGEES AU NITROX

ATA	Simple exposition (mn)	Durée maximale d'exposition pendant 24 h (mn)
1,6	45	150
1,5	120	180
1,4	150	180
1,3	180	210
1,2	210	240
1,1	240	270
1	300	300
0,9	360	360
0,8	450	450
0,7	570	570
0,6	720	720

4. La toxicité neurologique (suite)

La NOAA a également établi un système qui permet d'évaluer l'intoxication du SNC à l'O2 : le compteur à oxygène (CNS Clock). C'est le temps maximal pendant lequel le système nerveux central peut être exposé à l'oxygène.

Ce temps dépend directement de la pression partielle d'O2. Plus cette dernière est élevée, plus le temps maximal sera court. Il ne faudra en aucun cas dépasser cette durée maximale

Cette action de l'O2 sur le SNC a été modélisée en on exprime le CNS Clock en % de la durée maximale d'exposition :

%SNC = Temps d'immersion / Durée max NOAA simple exposition

4. La toxicité neurologique (suite)

Pour des profils de plongée complexes, on découpe la plongée en sections de valeur constante de Pp O2 et on calcule pour chaque section la valeur du compteur SNC. Puis, on additionne toutes les valeurs correspondantes aux différentes sections pour calculer la valeur finale

Règles d’utilisation :

Pour la première plongée, si % SNC atteint 80 %, attendre 2 heures avant la successive

En cumul journalier, si % SNC atteint 80 %, attendre 12 heures avant de replonger

Le total doit être toujours inférieur à 100% que ce soit pour une plongée ou pour plusieurs plongées par 24H

4. La toxicité neurologique (suite)

Les intervalles de surface doivent être effectués à l'air libre sans respiration de mélanges enrichis. La toxicité résiduelle diminue de moitié toutes les 90 minutes : elle a donc diminué de 50 % au bout de 90 min et de 75 % au bout de 180 min (3 heures). L'O2 fixé sur nos cellules étant métabolisé petit à petit, son niveau de toxicité diminue naturellement

Si IS inférieur à 2h il faut ajouter les temps de plongée et entrer dans le tableau dans la colonne "Durée maximale par plongée" en considérant la PpO2 la plus élevée des 2 plongées.

4. La toxicité neurologique (suite)

NB : il existe également dans la littérature des tableaux pré-établis qui donnent le %CNS par minute de plongée en fonction de la PpO2. Cependant, ces tableaux diffèrent et je ne suis pas parvenu à expliquer ces différences. J'ai donc choisi de ne pas les diffuser. Par ailleurs, cette approche n'est pas parfaite et n'est pas reconnue par toutes les organisations bien que les ordinateurs Nitrox l'intègrent pour la plupart aujourd'hui

Illustration 1 : On effectue une plongée de 26mn à 29m avec un Nitrox 32% quel est le %CNS?

Donc...

Illustration 2 : Plongée 40mn à 30m à l'air avec une déco 80%

5. En pratique

- Une façon « sécurisante » de plongée Nitrox est de limiter sa PpO2 à 1,4b en exploration et de la monter à 1,6b en déco

- En cas de longue exposition (20 mn) à une PP02 proche de 1,6B, il est conseillé d'effectuer un rinçage de 5mn, à l'air ou à un mélange moins oxygéné. Si ce rinçage est effectué en décompression, on ne prend alors pas en compte ces 5 mn dans le temps de décompression nécessaire : ATTENTION STOCK D'AIR

Autre effet à considérer

Effet vasoconstricteur de l’oxygène, notamment lors des paliers effectués à l’O2 pur => diminution du taux de perfusion conduisant à allonger les périodes de désaturation – d’où le minimum de 5 minutes dans le protocole des paliers à l’O2 pur

Une remarque

Les méthodes présentées ci-dessus pour modéliser les effets hyperoxiques (LS et PB) sont régulièrement décriées car perfectibles et basées sur des expérimentations discutables. De plus, ces méthodes ne tiennent pas compte des efforts fournis et du niveau de CO2 – facteurs favorisants l’hyperoxie

Cependant, ces méthodes constituent des outils simples et applicables facilement (ordinateurs) par les plongeurs sportifs, à condition de se tenir à l’écart des limites maximales

COURS 4 : RETOUR A LA DECOMPRESSION

Exercices d’application des tables (air/nitrox)

- Plongée successive
- Plongée consécutive
- Remontée rapide
- Conclusion
- Pour vous préparer

Plongées successives

Plongée 1 avec un mélange 32/68, profondeur atteinte 38 m. La durée de la plongée est de 25mn. Paliers (air et O2) et GPS?

2H plus tard, Plongée 2 avec un mélange 40/60 à la PMU de ce mélange. Durée max de cette plongée pour qu'elle soit sans palier?

Plongées consécutives 1

Deux plongeurs s'immergent avec un Nitrox 50/50 sur un fond de 22 mètres pendant 30 minutes. Ils effectuent une remontée progressive le long d'une paroi jusqu'au bateau en 4 minutes. Ils récupèrent un appareil photo et se ré-immergent 5 minutes après la sortie de l'eau avec un nouveau bloc, même mélange, pour effectuer une série de photos à 15 mètres durant 40 minutes.

Quelle sera leur procédure de décompression?

Qu'en concluez vous? (par rapport plongée air)

Plongées consécutives 2

Plongée 1 avec du 40/60. Canard 9H, profondeur 30m et durée 50mn

Plongée 2 à l'air. Canard à 10:10, profondeur 20m. Heure de sortie 10:42.

Temps maximum de la seconde plongée?

Faire les calculs avec tables air et tables nitrox

(air : 21% O_2 et 79% N_2)

Remontée rapide

Une palanquée d'autonomes s'immergent à 9:00 sur une épave à 33 m avec un mélange 36/64. Il quitte le fond après 22mn d'exploration. Lors de la remontée un des membres à un souci d'inflateur. N'arrivant pas à le débrancher, il perce la surface accompagnée comme il se doit par le reste de la palanqueé!!

Quelle décompression préconisez vous? Heure de sortie? Prendre air 21 % O2 & 79% N2

Conclusion

Utiliser les PEA si table air revient, d'un point de vue décompression, à utiliser les profondeurs réelles si tables nitrox (en prenant 79% N2). Cependant, en cas de remontée rapide, il est préconisé de considérer la profondeur réelle et non la PEA (à discuter…?)

Par ailleurs, Il faut que ces profondeurs soient TOUJOURS inférieures à la PMU et le durée d'inhalation du mélange suroxygéné inférieure à 120mn

Pour vous préparer

En mer, au même endroit, pour la même palanquée.

Départ 9H, 32m, mélange 38/62, 24mn. GPS?, Paliers?, Heure de sortie?

10mn après la sortie de l'eau le guide de palanquée part seul à l'air décrocher le mouillage à 31m. Durée 5mn. GPS? Paliers? Heure de sortie?

De 13H à 14H, le guide de palanquée respire seul de l'O2. A 14H la palanquée se ré-immerge sur 37m à l'air. A 14H21 l'ensemble de la palanquée fait une remontée panique.

La palanquée rejoint le premier palier à 14:24. Paliers? GPS? Heure de sortie?

FORMATION
Nitrox confirmé

COURS 5 : GONFLAGE & FABRICATION DES MELANGES

1. Méthodes de fabrication
2. Gonflage
   1. Bloc vide
   2. Bloc avec un nitrox résiduel

1. Les méthodes de fabrication

La réalisation pratique des mélanges est le point le plus délicat. Cette fabrication se heurte à 3 problèmes

1. Les risques liés à la manipulation de l'O2 : absence de corps gras (voir cours 6 techniques de dégraissage) et lenteur des transferts et des montées en pression surtout si fabrication par méthode séquentielle (dite par pressions partielles)
2. Les risques humains : une erreur est toujours possible. Il est donc indispensable de mettre en place des procédures spécifiques de fabrication, manipulation et stockage (formation Gaz Blender), ainsi que la nécessité d'analyser la teneur en O2 du mélange (attention erreur de calibrage!!)
3. La durée d'homogénéisation du mélange lié à la différence de densité des gaz (O2 /air). Il est conseillé d'attendre au moins 6H avant d'analyser le mélange pour son utilisation

1. Les méthodes de fabrication (suite)

Fabriquer un mélange particulier doit être réfléchi et répondre à une attente. La fabrication doit toujours être fonction au moins des éléments suivants :

- De la profondeur d 'évolution
- Du profil de décompression souhaité
- Des limites permises par le mélange

Exemple: on veut réaliser une plongée à 33 m. Les conditions étant difficiles on se fixe une limite de Pp02 de 1,4bb

Le pourcentage maximal d 'O2 dans le mélange sera de 1,4/4,3= 32,5 %. On décidera de fabriquer un mélange 32/68 et non un 33/67

Commentaires

Le tableau ci-dessous autorise les commentaires suivants :

- Les nitrox au delà de 65% aucun intérêt au niveau mer (sauf déco)
- Le nitrox 50/50 présente un intérêt considérable (moniteur et si trimix utilisable en déco dès 21m)
- Le 30/70 : fabrication des mélanges ternaires

Tableau des profondeurs équivalentes de différents Nitrox au niveau de la mer

Profondeur /%O2 =	**30**	**40**	**50**	**60**	**65**	**70**	**80**	**90**	**O2 pur**
10	7.7	5.2	2.7	0.0	0.00	0.00	0.00	Interdit	Interdit
15	12.2	9.0	5.8	2.7	0.00	Interdit	Interdit		
20	16.6	12.8	9.0	Interdit	Interdit				
22	18.4	14.3	10.3						
25	21.0	16.6	Interdit						
30	25.4	20.4							
35	29.9	Interdit							
40	34.3								
43	37.0								
45	Interdit								

1. Les méthodes de fabrication (suite)

A. Achat préparé de Nitrox

Il est tout à fait envisageable d'acheter auprès d'un gazier une B50 d'un nitrox préfabriqué.

Avantage : simplicité du procédé

Inconvénients :

1. Nécessité de disposer d'un surpresseur (coûteux) car le passage pour le compresseur est impossible
2. Impossibilité de moduler le mélange en fonction des usages différents souhaités

Donc l'achat « tout prêt » n'a pas beaucoup d'intérêt excepté du 30/70 pour trimix mais pas le cadre de ce cours

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle

C'est le cas de notre station de gonflage

Nécessite quelques calculs car elle n'est pas automatisée comme celle du Dolphin Shop à Veyrier

Méthode la plus souvent utilisée car elle présente l'avantage de mettre en œuvre que peu de matériel : une bouteille d'O2 et une lyre de transvasement

1. Les méthodes de fabrication (suite)

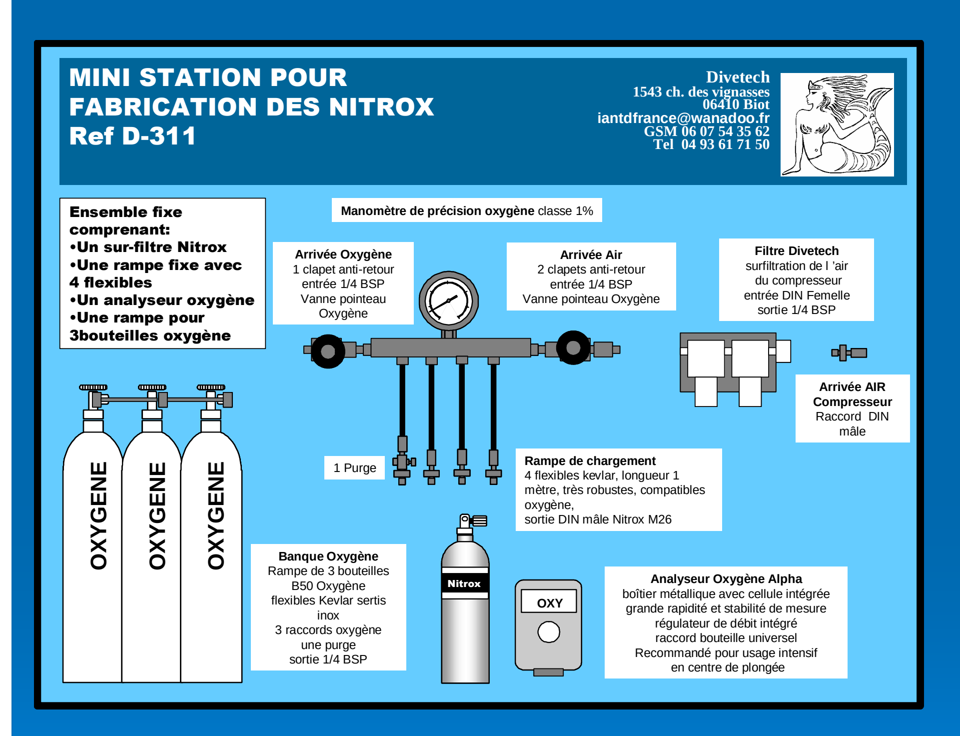
B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

Une lyre de transvasement doit comporter les 3 éléments suivants:

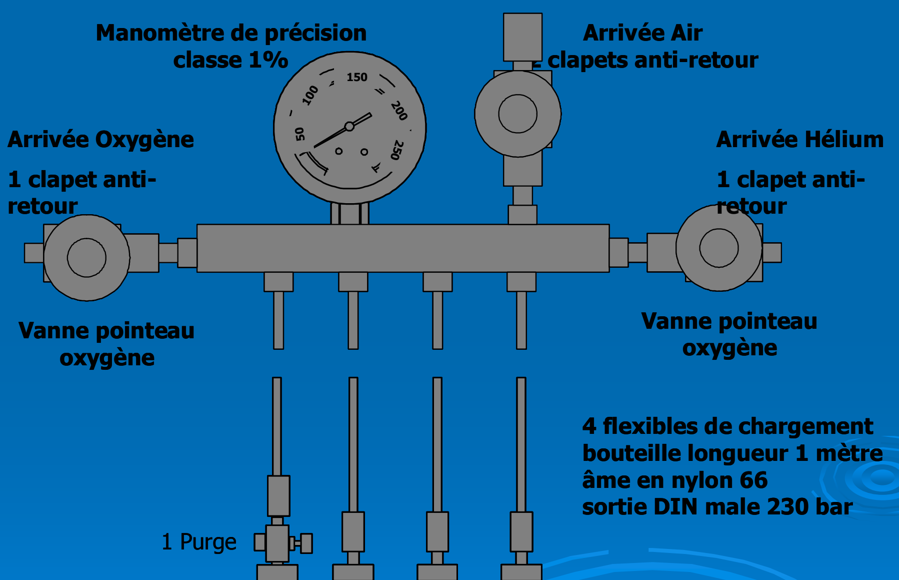
1. 2 raccords dégraissés (Bloc, B50), avec un tuyau compatible O2 et une purge (qui peut-être au niveau du manomètre 3.)
2. Une vanne de laminage qui permet de contrôler le débit avec précision (4b/mn – lenteur du transfert)
3. Un manomètre précis (de classe 1 ou garantissant 0,25% soit 0,5b max d'erreur pour les pressions de gonflage habituelles) et lisible sur une échelle de 0 à 200B (privilégier les manomètres digitaux). Il doit être compatible O2 et monté en aval de la vanne de laminage. NB un manomètre en amont – moins précis et moins cher – peut être positionné afin de connaître la pression de la B50

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)



MINI TABLEAU POUR FABRICATION DES NITROX/TRIMIX



1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

Cette lyre offre alors la possibilité de réguler le débit et de contrôler la pression – elle est suffisante.

On peut cependant l'améliorer en y ajoutant

- un clapet anti-retour – obligatoire pour des montages où il y a risque d'entrée d'O2 dans le compresseur
- Une pièce métallique avec orifice (<1mm), placé en amont de la vanne de laminage le plus près possible de la bouteille d'O2, pour ralentir les montées en pression et éviter un choc au niveau du manomètre à chaque ouverture (pour info existe sur les flexibles HP de plongée et limite le coup de fouet si rupture du flexible.)

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

La procédure de gonflage est la suivante:

1. Raccorder la B50 d'O2 au bloc de plongée dégraissé
2. Ouvrir en grand le bloc de plongée
3. Ouvrir lentement la B50
4. Réguler la vitesse de transfert via la vanne de laminage
5. Suivi du processus de transvasement au manomètre « précis »
6. Une fois la quantité d'O2 nécessaire au mélange souhaité est dans le bloc (voir § 2) Fermer la B50
7. Fermer la vanne de laminage
8. Fermer le bloc
9. Purger et déconnecter

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

10. Compléter à l'air par le compresseur qui doit posséder en sortie un surfiltre (tamis plus fin mais onéreux) pour limiter la quantité d'huile résiduelle (0,1 mg/m^3 valeur retenue)
11. Analyse du mélange par le « gaz blender »
12. Remplissage du carnet de gonflage par le «gaz blender»
13. Laisser passer au moins 6H avant… (certains disent 12, voire 24H)
14. Analyse du mélange par l'utilisateur final
15. Remplissage du carnet de gonflage par l'utilisateur final

NB: Les caractéristiques techniques propres à chaque compresseur (ex tampons internes sur chaque étages) et/où station de gonflage peuvent conduire à adapter cette procédure

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

Avantages

- La plus économique
- Fabrication de tous les mélanges (22 à 99%)

Inconvénients

- Impossibilité d'utiliser totalement la B50 – perte d'O2
- Manipulation d'O2 :
  - détente puis re-compression avec risque de combustion spontanée
  - Bloc dégraissé donc en disposer

1. Les méthodes de fabrication (suite)

B. Fabrication par la méthode séquentielle (suite)

Inconvénients (suite)

- Nécessite des calculs si pas d'automatisation
- Délai d'attente avant utilisation afin que le mélange se stabilise. Le N2 et l'O2 ont besoin d'un certain temps avant de réaliser leur homogénéisation (fonction de la pression ambiante, de la T°, etc.) Cependant, une fois stabilisé le mélange reste identique et homogène indéfiniment. Il n'y aucun formation de sédimentation. Pour accélérer ce processus, certains préconisent de gonfler le bloc couché et /ou de le mettre une fois gonflé au soleil ; d'autres conseillent de le faire rouler pendant au moins une heure avant l'analyse finale

1. Les méthodes de fabrication (suite)

c. Fabrication en continu par un mélangeur (stick)

Il s'agit d'effectuer le mélange Nitrox avant son introduction dans le compresseur

Pour cela on utilise un mélangeur (stick) qui permet de réaliser un mélange à la pression atmosphérique et cela de façon homogène (car compresseur). Tout ce qui est en aval du stick doit être compatible O2

Une vanne de laminage en entrée du stick permet de régler le débit d'oxygène en fonction du mélange souhaité

Le stick n'est autre qu'un boîtier qui brasse par turbulence de l'air et de l'O2 arrivant par deux entrées différentes. Une fois mixé ce mélange passe dans un zone laminaire qui permet la mesure du % d'O2 – première analyse

1. Les méthodes de fabrication (suite)

c. Fabrication en continu par un mélangeur (suite)

La procédure de gonflage est la suivante:

1. B50 et vanne de laminage fermées
2. Vérifier le calibrage de l'analyseur du stick
3. Démarrer le compresseur – vannes ouvertes pour éviter qu'il monte en pression
4. Vérifier si le calibrage reste stable
5. Ouvrir la B50 et la vanne de laminage doucement en surveillant les indications de l'analyseur
6. Dès que l'analyseur indique le % souhaité attendre 15 à 20 secondes pour s'assurer de la stabilité du mélange – jouer sur la vanne si besoin très délicatement
7. Connecter le bloc de plongée au compresseur
8. Vérifier la stabilité du mélange et ajuster si besoin

1. Les méthodes de fabrication (suite)

c. Fabrication en continu par un mélangeur (suite)

La procédure de gonflage est la suivante (suite):

9. Purger régulièrement le compresseur
10. Dès que le bloc est rempli le déconnecter de la rampe
11. Fermer la vanne de laminage puis la B50
12. Faire tourner le compresseur à vide 30 secondes pour vider l’installation de tout mélange
13. Couper le compresseur
14. Analyser le mélange
15. Remplir le carnet de gonflage (Gaz blender et utilisateur final)

NB: Les caractéristiques techniques propres à chaque compresseur (ex tampons internes sur chaque étages) et/où station de gonflage peuvent conduire à adapter cette procédure

1. Les méthodes de fabrication (suite)

c. Fabrication en continu par un mélangeur (suite)

Avantages

- On peut vider totalement la B50
- Moins de risque d'erreur humaine, procédures d'utilisation de l'O2 moins exigeantes
- Plus besoin de dégraisser les blocs (cela reste recommandé par la FFESSM)
- Plus de délai d'attente
- Peu coûteux –un mélangeur à affichage digital coûte moins de 900€
- Convient parfaitement aux petites installations

1. Les méthodes de fabrication (suite)

Avantages (suite)

- Pas de calcul si bouteilles dédiées à un mélange spécifique (32%, 36%, etc)
- Gonflage rapide (comme à l'air) surtout si configuration ci-dessus

Inconvénients

- 40% max compte tenu que le mélange passe par le compresseur..
- Erreur humaine : ouverture trop rapide de la B50 avec la vanne de laminage ouverte à fond. Donc toujours une précaution d'utilisation
- Jusque quand? Voir cours 6

Par ailleurs, l'analyse du mélange par l'utilisateur final reste obligatoire : deuxième analyse

1. Les méthodes de fabrication (suite)

D. Fabrication par séparation moléculaire

On ne cherche plus à apporter de l'oxygène mais à enlever de l'azote de l'air

Pour cela, on utilise un filtre spécial (filtre de fibres) qui permet de trier entre les molécules d'oxygène et d'azote de tailles différentes : séparateur moléculaire. Le résultat est un nitrox dont le % d'O2 sera fonction de la pression d'air et du débit d'échappement de l'azote (risque d'hypoxie dans le local de gonflage si pas d'évacuation extérieure)

Ce filtre doit donc être situé dans un compresseur basse pression installé en amont du compresseur HP ce qui limite à 40% les mélanges fabriqués

1. Les méthodes de fabrication (suite)

D. Fabrication par séparation moléculaire (suite)

Les avantages et les inconvénients sont identiques à ceux du mélangeur

MAIS Il n'y a plus de manipulation d'O_2 pur et le processus de fabrication est très automatisé ce qui diminue fortement le risque d'erreur humaine

Cependant, procédé très consommateur d'énergie et coûteux (2 compresseurs) qui ne peut convenir qu'à des centres de plongée importants

2. Les calculs liés au gonflage

Ils ne concernent, comme nous l'avons vu, que la fabrication des mélanges par pression partielle – méthode séquentielle

On distinguera 2 situations

1. Le bloc à gonfler est vide

Illustration : bloc 15l à remplir à 200B avec du 32/68. Quelle quantité d'O2 pur doit on transférer dans le bloc?

On raisonne par rapport à l'azote (air 20% O2, 80% N2)

Pour avoir dans une 15L une pression finale de 200B avec 68% de N2 il faut 2040 litres de N2 soit 2550 litres d'air soit 170 bars d'air qui contiennent 34 bars d'O2. Pour avoir un Nitrox 32/68, il en faut 64B il faut donc transvaser 30 bars d'O2 pur de la B50 (d'où la précision du manomètre)

2. Les calculs liés au gonflage (suite)

Exercice : 12L vide que l'on souhaite remplir à 200B avec du 35/65. (air 21% O_2 et 79% N_2) Rép : 35.4b d'O_2

On peut aussi utiliser directement la formule suivante

$$PO_2 \text{ à rajouter} = P_{finale} \times \frac{\%\ O_2 \text{ du Nitrox} - \%\ O_2 \text{ air}}{\%\ N_2 \text{ air}}$$

que l'on peut mettre dans son agenda électronique mais pas pour l'examen…

Avez-vous une remarque les puristes??????

2. Les calculs liés au gonflage (suite)

2. Le bloc à gonfler n'est pas vide

Illustration : bloc 15l avec 35b de 32/68. on souhaite le remplir à 200 bar avec du 40/60. Quelle quantité d'O2 pur doit on transférer dans le bloc? (air 20% O2, 80% N2)

On va tenir un raisonnement identique

On a déjà dans le bloc 11,2 bars d'O2 et 23,8 bars de N2

Le gonflage doit nous permettre d'avoir au final : 80 bars d'O2 et 120 bars de N2. La pression d'azote à rajouter est de 96,2 bars qui ne peut provenir que de l'air, soit 120,25bar. Ceux-ci contiennent 24,05 bars d'O2. En tenant compte de la pression résiduelle d'O2 dans le bloc 11,2 on en déduit la quantité d'O2 44,75 bars à transvaser de la B50

2. Les calculs liés au gonflage (suite)

Exercice : 12L de 30/60 à 50 bars. On souhaite le remplir à 200B avec du 35/65. (air 21% O2 et 79% N2) Rép : 29,75b d'O2

On peut aussi utiliser directement la formule suivante

$$PO2\text{ à rajouter} = \frac{\dfrac{(P_{finale} \times \%O2_{finale}) - (P_{résiduelle} \times \%O2_{résiduelle})}{(P_{finale} - P_{résiduelle})} - \%O2_{air}}{\%N2_{air}} \times (P_{finale} - P_{résiduelle})$$

que l'on peut également mettre dans son agenda électronique mais pas pour l'examen…

2. Les calculs liés au gonflage (suite)

Donc les puristes??????

Le calcul pour le bloc vide n'est pas correct car dans un bloc, même vide, il reste toujours 1 bar de Nitrox 20/80

La réponse exacte est : 29,99 avec air 20%O2 et 80% N2

D'un point de vue pratique, le suivi de ce type de gonflage se fera par la pression lue sur le manomètre. C'est-à-dire avec l'apport d'oxygène. La relation suivante nous permet de relier ces différents niveaux de pression :

Pmano = Présiduelle + PO2rajouté

Il est alors direct, par un tableur, de construire des tableaux donnant la Pression à lire sur un manomètre en fonction du mélange souhaité et de la pression initiale (cf fichier Excel)

COURS 6 : Points divers

1. Evolution de la réglementation
2. Bloc et système TIV
3. Techniques de dégraissage
4. Procédures et Nitrox

Cette partie est un ensemble de réflexions fondé sur les évolutions en cours de la plongée mélange

Sont abordés des thèmes qui nous semblent intéressants d'aborder lors d'une telle formation

Il n'y a ici aucune prétention d'exhaustivité

1. Evolution de la réglementation

Le grand débat et Quand?

Depuis des années on entend que pour tout mélange avec un %02 > 21, tout le matériel devra être compatible O2 donc dégraissé ou dédié uniquement à la plongée nitrox. Sont concernés :

- Tab
- Détendeurs
- Bloc
- Manomètre
- Combinaison étanche

Et quid des compresseurs si fabrication par stick ou séparateurs moléculaires???

1. Evolution de la réglementation (suite)

Cependant, l'article 5 de l'arrêté du 23 juillet 2009 relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome aux mélanges autres que l'air, semble toujours moins restrictif. Il stipule :

“Sans préjudice des autres dispositions réglementaires applicables en la matière, lorsque la fabrication des mélanges entraîne une circulation de gaz comprimés avec des taux supérieurs à 40% d’O2, les bouteilles de plongée et les robinetteries doivent être compatibles pour une utilisation O2”

Rien n’est précisé sur les mélanges < 40% et sur les autres éléments du matériel ! Quid des compresseurs – où trouver l’info??

1. Evolution de la réglementation (suite)

Pour l'instant, rien n'empêche d'utiliser du matériel "Air", après dégraissage, pour pratiquer la plongée "Nitrox" sauf si l'arrêté du 23 juillet 2009 est modifié dans ce sens.

Affaire à suivre……..

Par ailleurs, l'application des normes de standardisation du matériel Nitrox (raccord fileté 200B et 300B robinet/détendeur) rend progressivement l'utilisation de détendeurs air (sauf adaptateur) impossible

2. Bloc et système TIV

Les bouteilles nitrox tombaient sous le régime général en ce qui concerne les inspections et re-qualifications périodiques (12 mois, 2 ans)

Début 2006, les blocs nitrox inscrits au registre d'un club peuvent bénéficier du régime dérogatoire comme les blocs air

Les techniciens en inspection visuelle (TIV) n'ont pas besoin de la qualification Nitrox confirmé pour inspecter les bouteilles Nitrox et apposer le macaron si la bouteille est saine

Les nouveaux cursus de formation TIV intègrent un volet "Oxygène"

3. Techniques de dégraissage

Pour les blocs :

Le dégraissage est une affaire de spécialistes et fait appel à des procédures strictes mettant en jeu des produits difficiles à manipuler et toxiques - voire formation TIV

3 – Techniques de dégraissage (suite)

Pour les autres éléments du matériel

Il est illusoire de vouloir dégraisser un manomètre ou même un flexible… la littérature propose de nombreuses techniques de dégraissage. Celles présentées ci-dessous ne sont qu'une illustration de ce qu'il est possible de faire. Attention les produits utilisés sont agressifs, voire dangereux

Démontage

- Premier nettoyage au pinceau dans un bain de trichloréthylène/acétone (élimination des graisses), avec rinçage au lave-vaisselle. Le brossage des pièces est ici indispensable
- Inspection visuelle sous loupe éclairante. Correction des défauts et retour au stade 1 si nécessaire

3 – Techniques de dégraissage (suite)

Démontage (suite)

- Second nettoyage dans un bain de Trifluorotrichloroéthane (Fréon) en cuve à ultra sons
- Troisième nettoyage dans un bain neuf en cuve à ultra sons

Remontage

- L 'opérateur doit avoir des vêtements propres, mains soigneusement lavées, outils dégraissés
- Immédiatement après le troisième nettoyage, les pièces sont séchées. Les parties en friction sont graissées avec de la graisse Krystox 250 AC pour éviter le grippage
- Les joints avec de la graisse spéciale oxygène (VOLTALEF par exemple)

Conclusion de cette formation

Sommes nous d'accord….??

AVANTAGES DU NITROX

- Augmentation du temps d'immersion sans paliers (déplacement de la courbe de sécurité)
- Diminution; voire suppression des paliers
- Diminution; voire suppression de la majoration lors de plongées successives
- Moins de fatigue à l'issue de la plongée (??)
- Diminuer les risques d ’ADD pour un même profil de plongée qu ’à l ’air « Safe Air ».
- Diminution de l’intervalle « avion »
- Optimisation de la décompression
- L’écolage pour les moniteurs

INCONVENIENTS DU NITROX

- Pas adapté à « l'espace au-delà – plus -40m
- Respect absolu de la profondeur maxi d'utilisation
- Matériels spécifiques (>40% jusqu'à quand?..)
- Fabrication des mélanges : coûts, disponibilité
- Ne jamais oublier d'analyser soi-même son mélange
- Organisation et Planification plus importante

Mais un passage obligatoire pour la plongée TRIMIX ou Heliox

…que plonger au Nitrox, dans le respect de sa PMU, va dans le sens de la sécurité pour les plongeurs comme pour leurs encadrants

et que

« le risque » lié à la manipulation de l'O2 lors de la fabrication du mélange ne peut être analysé que par rapport «aux gains» en termes de sécurité en immersion

Programme WE

- Samedi matin : Analyse déco - Plongée air + bloc déco - travail de stabilisation (échange de bloc déco sous l'eau)- Préparation du mélange pour l'AM 40/60
- samedi AM : analyse, plongée 40/60 et lancer de parachute au moulinet , gonflage pour le dimanche matin 32/68, puis examen et il sera temps de boire un verre....
- Dimanche matin : analyse, plongée 32/68 avec bloc déco (lancement parachute au moulinet en profondeur avec remontée & déco le long du fil), préparation du mélange pour AM 38/62
- Dimanche après-midi : analyse, plongée 38/62 (comparaison ordi Nitrox, ordi air et tables), carnet et certification

NB : une analyse est considérée comme confirmant un mélange à +/- 2,5%. Par exemple, un Nx 40% peut être analysé entre 39% et 41% - donc attention entre les 2 analyses (Gaz blender et vous)

ANNEXE

NITROX ET PLONGEE ALTITUDE

L'INTÉRÊT

Sans aucun doute un intérêt majeur du Nitrox, surtout dans nos régions de montagnes

On sait que par rapport à une plongée air au niveau de la mer:

- La plongée en lac d'altitude est plus contraignante en termes de décompression (cf manuel de plongée Niv3 & 4)
- La plongée au Nitrox l'est « moins » (à profondeur d'utilisation maximale respectée)

DONC :

l'emploi d'un nitrox va permettre de contrecarrer en partie au moins l'effet de l'altitude sur la désaturation

(voir aussi § sur Hypoxie)

La démarche

2 façons d'aborder le problème…:

1. On calcule d'abord la profondeur fictive en altitude et ensuite la profondeur équivalente air

2. On calcule d'abord la profondeur équivalente au Nitrox, puis on détermine la profondeur fictive en altitude qui nous permet de rentrer dans les tables

…qui aboutissent aux mêmes résultats

Exemple: Préelle 20m ; Altitude 2000m ; Nitrox 40/60

Commentaires

Prof. Réelle	Altitude	Patm	**Profondeur équivalente air**				
10			air	30	40	50	60
	0	1	10	7.7	5.2	2.7	-
	1000	0.9	11.1	8.8	6.3	3.7	-
	2000	0.8	12.5	9.9	7.4	5.0	-
	3000	0.7	14.3	11.6	9.2	6.5	-

Prof. Réelle	Altitude	Patm	**Profondeur équivalente air**				
20			air	30	40	50	60
	0	1	20	16.6	12.8	9.0	-
	1000	0.9	22.2	18.7	14.7	10.8	-
	2000	0.8	25.0	20.9	16.8	12.9	-
	3000	0.7	28.6	24.1	20.0	15.5	11.0

Prof. Réelle	Altitude	Patm	**Profondeur équivalente air**				
40			air	30	40	50	60
	0	1	40	34.3	-	-	-
	1000	0.9	44.4	38.4	-	-	-
	2000	0.8	50.0	42.8	-	-	-
	3000	0.7	57.1	49.1	-	-	-

Commentaires (suite)

- Plus l'altitude et la profondeur sont élevées, plus les nitrox sont intéressants (30-50%)
- Les nitrox ramènent la profondeur de certaines plongées dans des limites compatibles avec une déco sportive (./. déco professionnel) en eau froide généralement (altitude)
- L'intérêt de la décompression à O2 pur est ici renforcé

Commentaires (suite)

ATTENTION

Le calcul d'une profondeur fictive en altitude en utilisant les rapports de pressions (Absolue/Atmosphérique) a ses limites et n'est fiable qu'en deçà de 3000m (voir 2500m). Au delà l'hypoxie – facteur favorisant & aggravant l'ADD - est telle qu'on ne peut plus se fier aux tables air pour calculer une décompression qui est fondée sur une PpO2 = 0,21b à l'arrivée en surface. Par ailleurs, la Pp de vapeur d'eau qui reste constante dans l'air expiré occupe à ces altitudes une part non négligeable de la composition du gaz expiré et diminue les possibilités d'échange gazeux (voir cours 3 : physiologie). Le docteur Jean-Claude Le Péchon a imaginé une autre méthode qui dépasse le contenu de ce cours. (cf Médecine de la Plongée et du Travail en atmosphère hyperbare. La Physique et ses applications à la plongée – Hopital Cochin – Paris Docteur JC Le Péchon).

Exercice d'application

Immersion 10 H. Pression atmosphérique 684mm hg avec un nitrox 32/68. Profondeur sonde 30m, départ remontée 10:40. Palier? GPS? HS?

Une palanquée s'immerge dans un lac au dessus duquel la Patm est de 608mm hg. Cette palanquée plonge au 32/68. Durée de la plongée 41mn à une profondeur réelle de 38m. A chaque fois que cela est possible, les paliers sont faits à l'O2 pur. On demande la durée et la profondeur des paliers éventuels?

La table équivalence altitude

Mais la FFESSM a pensé à vous et dans son immense générosité a calculé une table d'équivalence en altitude qui, par lecture directe, donne la profondeur fictive en fonction de l'altitude du lieu et de la profondeur réelle de la plongée

Il suffit alors d'entrer dans les tables Nitrox à cette profondeur fictive ou d'utiliser cette profondeur ficitve pour calculer la PEA si on utilise les tables MN90

Alors elle n'est pas gentille la FFESSM.....!

Pour vous entraîner

Plongée au Nitrox 40/60 dans un lac de montagne ou la Patm est de 0,8b. Profondeur maximale autorisée = seuil d’hyperoxie à 1,6b. Durée 40mn

Palier? GPS? HS?

Après 24H d’accoutumance, une palanquée va s’immerger dans un lac de montagne où règne une Patm 0,75b. Profondeur sonde max du lac de 30,60m. La palanquée va utiliser un Nitrox de tel sorte que la PpO2 = 1,6b pour la profondeur max. La durée max des paliers est fixée à 6mn

Temps de plongée ? GPS?

Pour vous entraîner (suite)

Une équipe de scientifiques utilisent un mélange 40/60 pour plonger dans le lac Titicaca à un altitude de 4000m.

Immersion à 8:30H, profondeur 25m, durée 40 mn

Palier? GPS? HS?

Quel commentaire feriez-vous si vous aviez à organiser une telle plongée?